

[Previous Doc](#)   [Next Doc](#)   [Go to Doc#](#)  
[First Hit](#)



Generate Collection

L2: Entry 7 of 12

File: DWPI

Dec 2, 2003

DERWENT-ACC-NO: 1998-515039

DERWENT-WEEK: 200382

COPYRIGHT 2006 DERWENT INFORMATION LTD

TITLE: Measurement of diameter of crystal - using photometry

PATENT-ASSIGNEE:

ASSIGNEE

CODE

SUMITOMO SITIX CO LTD

SUMIN

PRIORITY-DATA: 1997JP-0040151 (February 7, 1997)

Search Selected

Search ALL

Clear

PATENT-FAMILY:

PUB-NO	PUB-DATE	LANGUAGE	PAGES	MAIN-IPC
<input type="checkbox"/> JP 3473313 B2	December 2, 2003		007	C30B015/26
<input type="checkbox"/> JP 10226592 A	August 25, 1998		007	C30B015/26

APPLICATION-DATA:

PUB-NO	APPL-DATE	APPL-NO	DESCRIPTOR
JP 3473313B2	February 7, 1997	1997JP-0040151	
JP 3473313B2		JP 10226592	Previous Publ.
JP 10226592A	February 7, 1997	1997JP-0040151	

INT-CL (IPC): C30 B 15/26; H01 L 21/208

ABSTRACTED-PUB-NO: JP 10226592A

BASIC-ABSTRACT:

A single crystal is pulled up from a crystal melt by the Czochralski method with the single crystal rotating in the peripheral direction. Photometry is applied to the interface position of the single crystal and the melt with a camera installed at the top of oblique. The intersections at both the sides are detected from a change in brightness at the intersection of a fusion ring evolved at the circumference of the single crystal and the photometric line of the camera. Where, the measurement of the dia. of the crystal comprises: (a) independently detecting intersections at both the sides, respectively; (b) removing the component caused by the swinging of the single crystal from the intersection detection data at both the sides; (c) obtaining a difference in timing of a variation in the intersection positions at both the sides determined by the position of the photometric line of the camera; (d) comparing the intersection detection data at both the sides after removing the component caused by the swinging of the single crystal by removing the timing difference to obtain intervals between the intersections at both the sides.

USE - The method optically measures in high accuracy the dia. of the single crystal in pulling up the single crystal by the Czochralski method.

ADVANTAGE - The method measures in high accuracy the dia. of the single crystal over the entire circumference of the crystal including the vicinity of the crystal habit line. The result improves the yield, productivity, and quality of the single crystal.

CHOSEN-DRAWING: Dwg.0/8

TITLE-TERMS: MEASURE DIAMETER CRYSTAL PHOTOMETER

DERWENT-CLASS: L03 U11

CPI-CODES: L04-B01;

EPI-CODES: U11-B01;

SECONDARY-ACC-NO:

CPI Secondary Accession Numbers: C1998-154845

Non-CPI Secondary Accession Numbers: N1998-402592

[Previous Doc](#)   [Next Doc](#)   [Go to Doc#](#)

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平10-226592

(43) 公開日 平成10年(1998) 8月25日

(51) Int.Cl.<sup>6</sup>

識別記号

F I

C 3 0 B 15/26

C 3 0 B 15/26

// H 0 1 L 21/208

H 0 1 L 21/208

P

審査請求 未請求 請求項の数 3 F D (全 7 頁)

(21) 出願番号 特願平9-40151

(22) 出願日 平成9年(1997) 2月7日

(71) 出願人 000205351

住友シチックス株式会社

兵庫県尼崎市東浜町1番地

(72) 発明者 高梨 啓一

大阪府大阪市中央区北浜4丁目5番33号

住友金属工業株式会社内

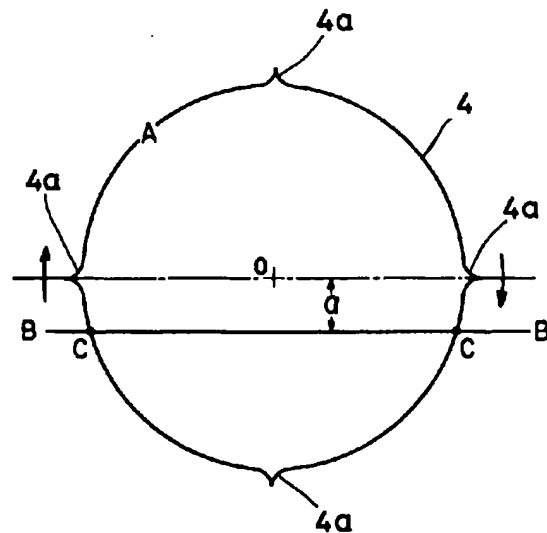
(74) 代理人 弁理士 生形 元重 (外1名)

(54) 【発明の名称】 結晶直径測定方法

(57) 【要約】

【課題】 CZ法による単結晶の引上げにおいて、単結晶4の外面に生じる晶癖線4aの部分も含め、結晶全周にわたって結晶直径を高精度に測定する。

【解決手段】 一次元CCDカメラ8によりフュージョンリングAと測光ラインBの交点C、Cの位置を検出する。単結晶4の晶癖線4aが測光ラインB-Bを通過するときに、両側の交点位置が変動する。結晶中心Oから測光ラインBが離れていることにより、両側の交点位置変動にタイミング差 $\theta$ が生じる。両側の交点位置検出データから交点間隔を求める際に、タイミング差 $\theta$ を取り除く。また、両側の交点位置検出データの周波数成分を求め、単結晶の揺れによる低次の周波数成分を除去することにより、単結晶の揺れによる影響を取り除く。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 結晶融液から単結晶を周方向に回転させながら引上げるCZ法による単結晶の引上げにおいて、斜め上方に設置されたカメラにより単結晶と融液の界面位置を測光し、単結晶の周囲に生じるフュージョンリングとカメラの測光ラインとの交点での輝度変化から両側の交点位置を検出する際に、両側の交点位置をそれぞれ独立に検出する工程と、両側の交点位置検出データから単結晶の揺れによる成分を取り除く工程と、カメラの測光ラインの位置により決定される両側の交点位置変動のタイミング差を求める工程と、単結晶の揺れによる成分を取り除いた後の両側の交点位置検出データを、前記タイミング差を取り除いて比較し、両側の交点の間隔を求めることにより単結晶の直径を測定する工程とを包含することを特徴とする結晶直径測定方法。

【請求項2】 両側の交点位置検出データから単結晶の揺れによる成分を取り除くために、両側の交点位置検出データの各周波数成分を求め、各周波数成分のなかから単結晶の揺れの周期に対応する低次の周波数成分を除去することを特徴とする請求項1に記載の結晶直径測定方法。

【請求項3】 単結晶の揺れの周期に対応する低次の周波数成分を除去するに当たり、単結晶が揺れていないとき或いはその揺れが非常に小さいときの周波数成分より、単結晶の形状による成分をオフラインで事前に調査しておき、この成分を除去対象から除外することを特徴とする請求項2に記載の結晶直径測定方法。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、CZ法（チョクラルスキー法）により単結晶を引上げる際に、その単結晶の直径を光学的に精度よく測定する結晶直径測定方法に関する。

## 【0002】

【従来の技術】半導体の原料となる単結晶を製造する方法の一つとしてCZ法による引上げがある。CZ法では、図1に示されるように、CZ炉の炉体1に設置されたつぼ2内に結晶融液3が満たされ、その融液3から単結晶4が回転装置6により回転させられながら引上装置5により引上げられる。このとき、ヒータ7による融液3の加熱を一樣にするために、ヒータ7の加熱中心と液面位置が一定となるように、つぼ2が上昇制御される。

【0003】引上げ中の単結晶4は、上端部および下端部においては各々目的とする形状に一致させるのが望ましく、また直胴部分や種結晶部分においては目標値に等しい均一直径とすることが望まれる。加えて、単結晶4の断面形状の真円からのズレを表わす変形率〔（最大径－最小径）／最小径〕を許容値以下にする必要もある。

【0004】一方、結晶品質に関しては、その評価項目

の一つである酸化誘起積層欠陥（以下OSFと称す）の密度を低く抑える必要がある。OSFとは結晶内に固溶した酸素が結晶の酸化熱処理の際に酸化物として析出する現象が原因で起こる積層欠陥のことである。このOSFの密度は引上速度を上昇させれば、結晶をその分急冷させることができるために低く抑えることができる。そのため引上速度を上げる必要がある。引上速度の上昇は生産効率を向上させる点からも有益である。

【0005】しかしながら、引上速度を上げると、上記変形率が増大し許容値を超えるために、歩留りが低下する。そのため変形率の許容範囲内で引上げ可能な最適引上速度を設定することが、単結晶の歩留り向上、生産性向上、品質確保等の点から必要となる。ここに引上げ中の単結晶の直径を正確に測定し、正確な変形率を算出することの重要性がある。

【0006】CZ法による引上げ中に単結晶の直径を測定する方法としては、引上げられた単結晶の重量から直径を算出する方法（以下重量法とする）と、一次元CCDカメラ等の光学機器を用いて直径を測定する方法（以下光学法とする）の2つが知られている。

【0007】ところで、CZ法による単結晶の引上げでは、図3に示されるように、単結晶4の外周面に晶癖線と呼ばれる突起4aが周方向に規則的に生じる。この突起4aは結晶軸方向に延び、単結晶4の結晶方位に固有な周方向位置に生じる。変形率を算出する場合この晶癖線の部分の直径を正確に測定する必要があるが、重量法では引上げられた単結晶の重量と長さから結晶直径を算出する関係から、平均直径しか測定できず、晶癖線の部分の直径を測定することはできない。その点、光学法は、融液と単結晶の界面に生じる輝度の高いフュージョンリングの直径を光学的に測定するために、晶癖線の部分の直径を測定することができる。

【0008】この光学法では、図1に示されるように、炉体1の上端部に設けた窓9を通して単結晶4と融液3の界面が一次元CCDカメラ8により直線的に測光される。そして、図2に示されるように、単結晶4の周囲に生じるフュージョンリングAと一次元CCDカメラ8の測光ラインB-Bとの交点C、Cでの輝度変化から交点C、Cの位置を検出し、単結晶4の直径を測定する。

【0009】具体的には、単結晶4が1回転する間、交点C、Cの位置検出を続け、下式により交点C、Cの間隔W(α)を求めることにより、単結晶4の全周にわたってその直径を測定する。

$$W(\alpha) = L(\alpha) - R(\alpha)$$

L(α), R(α): 交点C, Cの位置検出データ

α: 単結晶の回転角

【0010】この場合、一次元CCDカメラ8の測光ラインB-Bが結晶中心Oを通るように一次元CCDカメラ8を設置すると、結晶直径が減少したときにフュージョンリングAが単結晶4の陰となり、測定誤差を生じた

り、場合によっては直径測定が不可能になることがある。そのため、一次元CCDカメラ8の測光ラインB-Bが結晶中心Oよりカメラ側（手前側）に設定される。この場合、一次元CCDカメラ8が測定した交点C、Cの間隔Wから、結晶直径が次式により算出される。

$$D = (W^2 + 4a^2)^{1/2}$$

D：結晶直径

W：交点C、Cの間隔

a：結晶中心Oから測光ラインB-Bまでの距離

【0011】

【発明が解決しようとする課題】従来の光学法では、前述した通り、交点C、Cの位置検出データL(α)、R(α)の差[L(α)-R(α)]から交点C、Cの間隔Wが求められる。単結晶の結晶方位が(100)の場合、図3に示されるように、単結晶4の外面に90°の間隔で晶癖線4aが生じ、一次元CCDカメラ8の測光ラインB-Bが結晶中心Oを通るときは、結晶中心Oを挟んで対象位置にある2つの晶癖線4a、4aが同時に測光ラインB-Bを通過するので、交点C、Cの位置検出データL(α)、R(α)の差から、晶癖線4aの付

近も含めて単結晶4の直径が比較的高精度に全周測定される。

【0012】しかし、実際の引上げでは、前述した通り、測光ラインB-Bが結晶中心Oから離れる。その場合は、結晶中心Oを挟んで対象位置にある2つの晶癖線4a、4aは測光ラインB-Bを同時に通過せず、一方の通過の後に他方が通過する。そのため、交点C、Cの位置検出データL(α)、R(α)の差から交点C、Cの間隔Wを求める従来の光学法では、晶癖線4aの付近で直径測定精度が著しく低下する。

【0013】また、現在のるつぼの上昇制御においては、正確な液面位置検出方法が実用化されていないために、液面位置に誤差が生じる。その結果、一次元CCDカメラ8の測光ラインB-Bが初期の設定位置からずれ、結晶中心Oから測光ラインB-Bまでの距離aが変動する。そのため測定された直径Dに誤差が含まれる。

【0014】この問題を解決するために、一次元CCDカメラ8の測光ラインB-Bをそのラインと直角な方向に移動させ、移動の前後に測定した結晶直径と測光ラインB-Bの移動距離とから真の直径値を求める方法は、特開昭63-256594号により提案されている。しかし、この方法によっても測光ラインが結晶中心から離れていることによって生じる晶癖線付近での直径測定精度の低下は避けられない。

【0015】このような状況を背景として、本発明者は、フュージョニングAとカメラの測光ラインB-Bとの交点C、Cでの輝度変化から両側の交点位置を検出する際に、両側の交点位置をそれぞれ独立に検出し、両側の交点位置検出データL(α)、R(α)から、カメラの測光ラインの位置により決定される両側の交点位置

変動のタイミング差θを求め、そのタイミング差θを取り除いて両方の交点位置検出データL(α)、R(α)を比較することにより、測光ラインB-Bが結晶中心Oから離れていることに起因して生じる晶癖線付近での直径測定精度の低下を防ぐ単結晶の直径測定方法を先に開発した（特願平7-282460号）。

【0016】即ち、CZ法により引上げられる単結晶は、前述した通りその結晶方位に固有な外面周方向位置に晶癖線を生じる。例えば結晶方位が(100)の場合は90°おきに晶癖線が生じる。引上げ中の単結晶は周方向に回転していることから、一次元CCDカメラの測光ラインB-Bを晶癖線が横切るときに、フュージョニングAと測光ラインB-Bの交点位置が変動する。

(100)の場合は90°おきに交点位置が変動する。

【0017】測光ラインB-Bが結晶中心Oを通るときは、この交点位置変動が両側の検出位置で同時に生じるが、測光ラインB-Bが結晶中心Oから離れると、両側の交点位置変動の発生タイミングにズレが生じる。そして、このタイミング差θは結晶中心Oから測光ラインB-Bまでの距離が長くなるに従って大となる。

【0018】本発明者が先に開発した単結晶の直径測定方法では、両側の交点位置検出データL(α)、R(α)から両側の交点位置変動のタイミング差θを求め、両側の交点位置変動のタイミング差θを取り除いて、両方の位置検出データL(α)、R(α)を比較することにより、測光ラインB-Bが結晶中心Oから離れていることに起因して生じる晶癖線付近での直径測定精度の低下が防止される。

【0019】しかしながら、CZ法による単結晶の引上げでは、引上げ中の単結晶が1回転する間に1~4の周期で揺れる。一次元CCDカメラから見て単結晶が左右に揺れる場合は、両側の交点位置検出データL(α)、R(α)の差をとることにより、揺れの影響が排除されるので、問題を生じないが、単結晶が前後に揺れる場合は測光ラインB-Bから結晶中心Oまでの距離が変化することにより、直径測定精度が低下する。実際の引上げでの単結晶の揺れは複雑であり、両側の交点位置変動のタイミング差θを取り除いて両方の交点位置検出データL(α)、R(α)を比較する場合であっても、この揺れは直径測定精度を低下させる大きな要因となる。

【0020】本発明の目的は、測光ラインが結晶中心から離れていることに起因して生じる晶癖線付近での直径測定精度の低下を防ぎ、合わせて単結晶の揺れによる影響を排除することにより、結晶直径を全周にわたって正確に測定することができる結晶直径測定方法を提供することにある。

【0021】

【課題を解決するための手段】本発明の結晶直径測定方法は、結晶融液から単結晶を周方向に回転させながら引上げるCZ法による単結晶の引上げにおいて、斜め上方

に設置されたカメラにより単結晶と融液の界面位置を測光し、単結晶の周囲に生じるフュージョンリングとカメラの測光ラインとの交点での輝度変化から両側の交点位置を検出する際に、両側の交点位置をそれぞれ独立に検出する工程と、両側の交点位置検出データから単結晶の揺れによる成分を取り除く工程と、カメラの測光ラインの位置により決定される両側の交点位置変動のタイミング差を求める工程と、単結晶の揺れによる成分を取り除いた後の両側の交点位置検出データを、前記タイミング差を取り除いて比較し、両側の交点の間隔を求めることにより単結晶の直径を測定する工程とを包含するものである。

【0022】両側の交点位置検出データから単結晶の揺れによる成分を取り除く方法としては、両側の交点位置データに対して高速フーリエ変換(FTE: Fast Fourier Transform)等を実施して、それぞれの周波数成分を求め、求めた周波数成分のなかから単結晶の揺れの周期に対応する低次の周波数成分を除去する方法が有効である。

【0023】その際、単結晶が揺れていないとき或いはその揺れが非常に小さいときの周波数成分より、単結晶の形状による成分をオフラインで事前に調査しておき、この成分を除去対象から除外することが望まれる。

【0024】

【発明の実施の形態】以下に本発明の望ましい実施の形態について説明する。

【0025】本発明の直径測定方法では、図1に示すように、CZ法の炉体1の外に設置された一次元CCDカメラ8が使用される。本例では一次元CCDカメラを用いたが、二次元CCD等の使用も可能である。このカメラ8は、炉体に形成された窓9を通して、るつぼ1内の融液面を直線的に撮像する。そして、図2に示すように、引上げ中の単結晶4の周囲に生じるフュージョンリングAと一次元CCDカメラ8の測光ラインB-Bを交差させ、測光ラインB-B上の輝度変化から交点C、Cの位置をそれぞれ独立に検出する。この検出は単結晶4が1回転する間、その回転角に対応して一定ピッチで継続する。

【0026】CZ法により引上げられる単結晶は、図3に示すように、その結晶方位に固有な外面周方向位置に晶癖線4aを生じる。同図は結晶方位(100)の場合を示しており、この場合は90°おきに4本の晶癖線4aが生じる。而して引上げ中の単結晶4は周方向に回転している。そのため、測光ラインB-Bを晶癖線4aが横切るときに、交点Cの位置変動が生じる。

【0027】今、測光ラインB-Bが結晶中心Oを通っていると仮定すると、測光ラインB-Bを晶癖線4aを通過することによって生じる両側の交点C、Cの位置変動は両側で同じタイミングとなる。つまり、ある晶癖線4aが測光ラインB-Bを通過するときに、結晶中心O

を挟んで対象位置にある晶癖線4aも測光ラインB-Bを通過する。

【0028】しかし、実際の引上げでは、測光ラインB-Bは結晶中心Oから一次元CCDカメラ8の側(手前側)に離れている。そのため、測光ラインB-Bを晶癖線4aを通過することによって生じる両側の交点C、Cの位置変動は、両側で異なるタイミングとなる。例えば単結晶4が時計回りで回転している場合は、左側の測定位置で測光ラインB-Bを晶癖線4aが通過し交点Cの位置変動を生じた後、右側の測定位置で測光ラインB-Bを晶癖線4aが通過し交点Cの位置変動が生じ、ここに両側の交点C、Cの位置変動にタイミング差が生じる。

【0029】図6中の実線は、結晶方位(100)の単結晶を時計回りに回転させながら引上げている場合に一次元CCDカメラで得られる両側の交点位置検出データ $L(\alpha)$ 、 $R(\alpha)$ である。単結晶の回転に伴い両側の交点位置検出データ $L(\alpha)$ 、 $R(\alpha)$ が晶癖線4aの通過により変動するが、右側の変動は左側の変動より $\theta$ だけ遅れて検出される。なお、図6中の破線は、単結晶の揺れによる成分を除去したあとの両側の交点位置データ $L'(\alpha)$ 、 $R'(\alpha)$ を示す。

【0030】単結晶の直径は急変しないので、本来なら測光ラインB-Bを晶癖線4aが通過するとき以外は、交点位置検出データ $L(\alpha)$ 、 $R(\alpha)$ は一定のはずであるが、実際は図6中の実線に示されるように、単結晶の揺れのために、測光ラインB-Bを晶癖線4aが通過するとき以外にも、交点位置検出データ $L(\alpha)$ 、 $R(\alpha)$ は変化する。そして、この変化は交点位置検出データ $L(\alpha)$ 、 $R(\alpha)$ のタイミング差 $\theta$ と共に、単結晶の直径測定精度を低下させる大きな原因となる。

【0031】そこで、本発明の結晶直径測定方法では、図4に示すように、両側の交点C、Cの位置を独立に検出した後、それぞれの交点位置検出データ $L(\alpha)$ 、 $R(\alpha)$ から単結晶の揺れによる成分を除去する。これは例えば次の方法により行うことができる。

【0032】両側の交点位置検出データ $L(\alpha)$ 、 $R(\alpha)$ に対して高速フーリエ変換(FTE: Fast Fourier Transform)を実施し、それぞれの時間関数で表される周波数成分を求める。交点位置検出データ $L(\alpha)$ 、 $R(\alpha)$ を $f(x)$ で代表し、その周波数成分を表すと、数式1のようになる。

【0033】

【数1】

7

$$f(x) = \sum_{n=0}^N a_n \sin(nx + \alpha_n)$$

$f(x)$  : 交点位置検出データ

$x$  : 結晶の回転角度

$a_n$  :  $n$  次の成分振幅

$\alpha_n$  :  $n$  次の成分の位相差

【0034】また、 $f(x)$  の周波数成分を図示すると、図5中の実線のようにになる。なお、図5中の破線は、単結晶の揺れが実質的に存在しない場合の周波数成分である。

【0035】単結晶は引上げ中に1回転につき1～4回の周期で揺れている。そこで、単結晶の揺れの周期(1～4回)に対応する低次の周波数成分を、単結晶の揺れによるものとして除去する。しかし、これらの揺れ成分を全て除去してしまうと、測定誤差が大きくなる。なぜ\*

$$F(x) = f(x)$$

$$- \{a_1 \sin(x + \alpha_1) + a_2 \sin(2x + \alpha_2)$$

$$+ a_3 \sin(3x + \alpha_3) + (a_4 - A) \sin(4x + \alpha_4)\}$$

$F(x)$  : 補正後データ

$A$  : 結晶形状に起因する4次成分の振幅(予め設定)

【0037】なお、図5中に破線で示す単結晶の揺れが実質的に存在しない場合の周波数成分においても、1～3次の項にスペクトルが存在する。(100)方位の単結晶の場合、1～3次の項に結晶形状成分は存在しないので、この1～3次の項のスペクトルは振幅が0.2mm以下の非常に小さい結晶揺れによるものと考えられる。

【0038】両側の交点位置検出データ $L(\alpha)$ 、 $R(\alpha)$ につき、単結晶の揺れによる成分を除去したデータ $L'(\alpha)$ 、 $R'(\alpha)$ が得られると、図6に示すように、その交点位置検出データ $L'(\alpha)$ 、 $R'(\alpha)$ のズレから両側の交点位置変動のタイミング差 $\theta$ を求める。そして、このタイミング差 $\theta$ を取り除くため、数式3を用いて、両側の交点C、Cの間隔 $W(\alpha)$ を求める(図7、8参照)。

【0039】

【数3】 $W(\alpha) = R'(\alpha + \theta) - L'(\alpha)$

【0040】単結晶4が反時計回りに回転しながら引上げられる場合は、数式4により両側の交点C、Cの間隔 $W(\alpha)$ を求める。

【0041】

【数4】 $W(\alpha) = R'(\alpha) - L'(\alpha + \theta)$

【0042】そして、測定された間隔 $W(\alpha)$ は、数式5を用いて結晶直径 $D(\alpha)$ に換算される。

【0043】

【数5】 $D = (W^2 + 4a^2)^{1/2}$

【0044】本発明の方法では、図6、7に示すように、両側の交点位置変動のタイミング差 $\theta$ を除去するだけでなく、単結晶の揺れによる影響を除去する。その結

8

\*なら、結晶方位(100)の場合、90°おきに4本の晶癖線4aが生じるため、4次の周波数成分まで除去すると、単結晶1回転につき4回含まれる結晶形状による成分まで除去されてしまうからである。そこで、図5に示すように、 $f(x)$ の3次以下の成分(振幅)は全て単結晶の揺れの影響として除去するが、4次の成分(振幅)については単結晶が揺れていないとき或いはその揺れが非常に小さいときの周波数成分をオフラインで事前に調査しておき、これと実際の周波数成分との差を単結晶の揺れによるものとして除去する。つまり、単結晶が揺れていないとき或いはその揺れが非常に小さいときの周波数成分を除去対象から除外して残すのである。このようにして単結晶の揺れによる周波数成分を除去することにより、数式2が得られる。

【0036】

【数2】

※果、結晶直径 $D(\alpha)$ は、図8に示すように正確に測定される。図8中の破線はタイミング差 $\theta$ のみを除去した場合、実線はタイミング差 $\theta$ と共に単結晶の揺れによる影響を除去した場合である。

【0045】ここで、結晶中心から測光ラインB-Bまでの距離 $a$ は、融液3の液面位置が上下することに伴い変化するが、その距離 $a$ が変化すると、両側の交点位置変動のタイミング差 $\theta$ も変化する。すなわち、結晶中心Oから測光ラインB-Bまでの距離 $a$ が大きくなるにつれて、タイミング差 $\theta$ も大きくなる。そこで、タイミング差 $\theta$ を用いて数式6により距離 $a$ を補正することができる。

【0046】

【数6】 $a = W_{avg} / 2 \cdot \sin^{-1}(\theta/2)$

$W_{avg}$  : 前回測定時の平均間隔

【0047】これにより、融液面のレベル変化による測定誤差も排除される。

【0048】交点C、Cの位置を検出するピッチは、晶癖線付近の形状を正確にとらえるために引上げ中の単結晶の回転角度で2°以下が望ましい。このピッチを1°にして本発明を実施したところ、従来法では正確に測定できなかった晶癖線付近を通る直径についても、その直径を正確に測定でき、直径および変形率ともに誤差が従来法の場合の半分以下になることが確認された。また、測定された直径から晶癖線の位置が正確に検出されるようになったため、引上げ中の単結晶の多結晶化監視の自動化も可能になった。

【0049】

【発明の効果】以上に説明した通り、本発明の結晶直径測定方法は、晶癖線による両側交点位置変動のタイミング差を検出し、そのタイミング差による測定誤差を排除すると共に、単結晶の揺れによる影響を排除するので、晶癖線付近を含む結晶全周について直径を高精度に測定することができ、これによる変形率の検出精度向上等により歩留り改善、生産性改善、品質改善等に大きな効果を奏する。

【図面の簡単な説明】

【図1】CZ法による単結晶引上げの装置構成図である。

【図2】単結晶の直径を測定する方法の概念図である。

【図3】ラインセンサの測光ラインと結晶中心の位置関係を示す模式平面図である。

【図4】本発明の方法における直径計測手順を示すフローチャートである。

【図5】交点位置検出データの周波数成分を示すグラフである。

【図6】両側の交点位置検出データを、結晶揺れの影響を除去した場合と除去しない場合について示すグラフである。

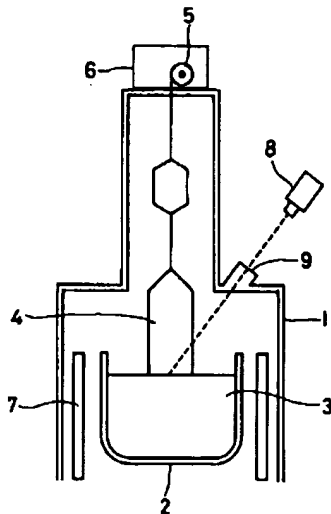
【図7】交点位置変動のタイミング差 $\theta$ を除去したあとの交点位置検出データを示すグラフである。

【図8】両側の交点位置検出データから求めた結晶直径データを、結晶揺れの影響を除去した場合と除去しない場合について示すグラフである。

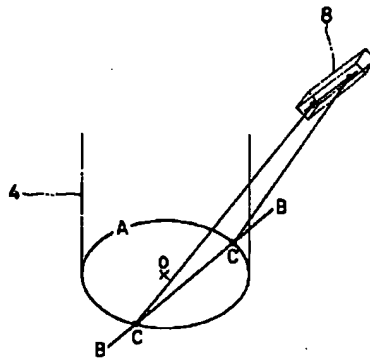
【符号の説明】

- 1 炉体
- 3 融液
- 4 単結晶
- 8 一次元CCDカメラ
- A フュージョンリング
- B 測光ライン
- C フュージョンリングと測光ラインの交点
- O 結晶中心

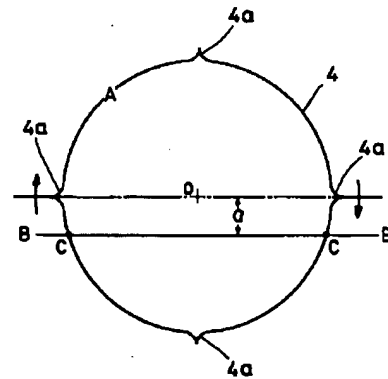
【図1】



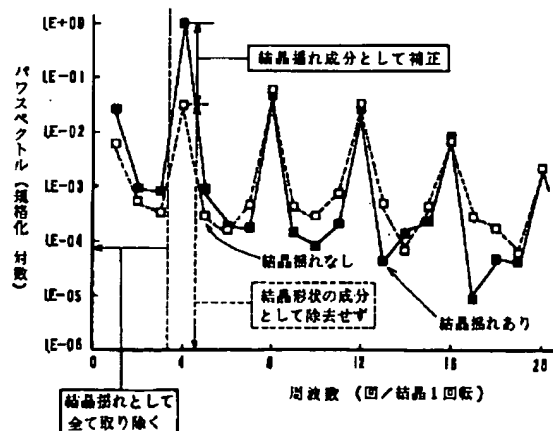
【図2】



【図3】

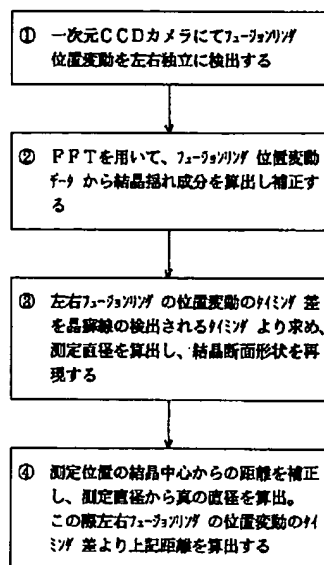


【図5】

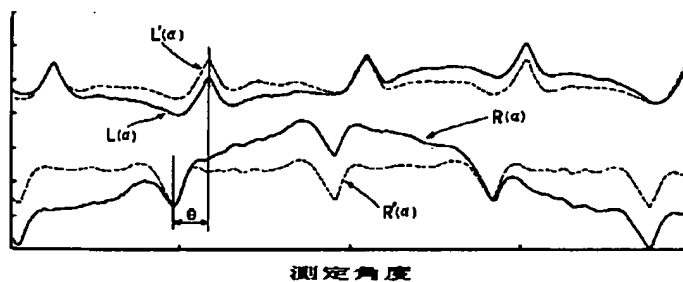




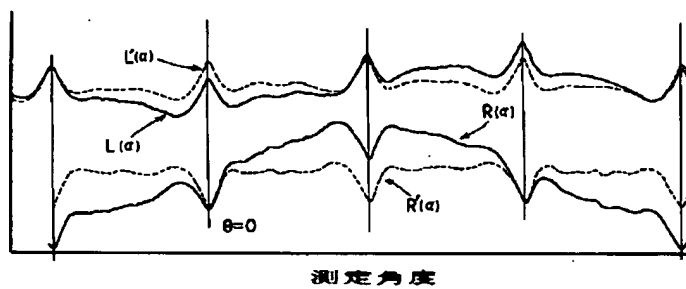
【図4】



【図6】



【図7】



【図8】

